

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Měření útlumu kabelových cest v bezodrazové komoře

Jakub Jeníček

2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub JENÍČEK**
Osobní číslo: **E11B0213P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Měření útlumu kabelových cest v bezodrazové komoře**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši vhodných kabelů pro použití při měření v elektromagnetické kompatibilitě, včetně kabelů použitých v bezodrazové komoře FEL ZČU.
2. Prostudujte zapojení měřicích kabelových vedení v bezodrazové komoře FEL ZČU a popište je.
3. Změřte útlumy všech měřicích kabelových vedení v bezodrazové komoře FEL ZČU.
4. Vytvořte detailní dokumentaci kabelových vedení v bezodrazové komoře FEL ZČU.
5. Zhodnoťte naměřené výsledky a diskutujte jejich vliv pro měření.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Kubík, Ph.D.

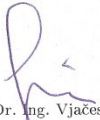
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na výpočet a měření útlumu koaxiálních kabelů.

Práce obsahuje informace o koaxiálních kabelech, jako jsou jejich základní parametry, konstrukce koaxiálních kabelů a používaná dielektrika. V práci se dočteme o některých metodách výpočtu a měření útlumu koaxiálních kabelů. Dále jsou zde uvedeny některé prodávané koaxiální kabely, které jsou porovnávány s měřenými kabely.

Klíčová slova

Primární parametry, sekundární parametry, měrný útlum, koaxiální kabely, dielektrikum, homogenní vedení, dvojbrany.

Abstract

The present thesis is focused on the calculation and measurement of the specific attenuation of coaxial cables.

The work contains information on coaxial cables, such as their basic parameters, design of coaxial cables and used dielectric. In this work, we read about some of the methods of calculating and measuring the attenuation of coaxial cables. There are also some sold coaxial cables, which are compared with the measured cables.

.
. .
. .
. .
. .
. .
. .
. .
. .

Key words

The primary parameters, the secondary parameters, specific attenuation, coaxial cables, dielectric, homogeneous conduction, two-port networks.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 8.6.2014

Jakub Jeníček

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňkovi Kubíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za velkou podporu při studiu.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ	8
ÚVOD	9
1 KOAXIÁLNÍ KABELY	10
1.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KOAXIÁLNÍCH KABELŮ	10
1.1.1 Primární parametry	10
1.1.2 Sekundární parametry	11
1.2 STÍNĚNÍ KOAXIÁLNÍCH KABELŮ	12
1.3 IMPEDANČNÍ PŘÍZPŮSOBENÍ	12
1.3.1 Důsledky špatného impedančního přizpůsobení	13
2 ÚTLUM A MĚŘENÍ ÚTLUMU	13
2.1 VÝPOČET ÚTLUMU	13
2.1.1 Koaxiální kabel jako homogenní vedení	13
2.1.2 Koaxiální kabel jako dvojbran	14
2.2 MĚŘENÍ ÚTLUMU	15
2.2.1 Metoda měření útlumu	15
2.2.2 Měření v bezodrazové komoře	15
2.2.2.1 Nastavení spektrálního analyzátoru	16
2.2.2.2 Postup měření a zpracování dat	16
2.2.2.3 Příklad reprezentace naměřených dat	18
3 DIELEKTRIKA POUŽÍVANÁ V KABELECH	20
3.1 OBECNĚ O DIELEKTRICKÝCH MATERIÁLECH	20
3.2 PŘÍKLADY DIELEKTRIK	20
4 VYBRANÉ PRODÁVANÉ KABELY	21
5 POROVNÁNÍ KOAXIÁLNÍCH KABELŮ	25
ZÁVĚR	29
POUŽITÁ LITERATURA	30
PŘÍLOHA	31

Seznam Symbolů

a, b [m].....	Průměr vodičů
R [Ω/m].....	Měrný odpor
L [H/m].....	Měrná indukčnost
C [F/m].....	Měrná kapacita
G [S/m].....	Měrný svod
ω [rad/s].....	Kmitočet
μ_0 [H/m].....	Permeabilita vakua
μ_r [-].....	Relativní permeabilita
ϵ_0 [F/m].....	Permitivita vakua
ϵ_r [-].....	Relativní permitivita
γ_c [S].....	Vodivost vodičů
γ_d [S].....	Vodivost dielektrika
Z_0 [Ω].....	Vlnová impedance
β [dB/m].....	Měrný útlum
α [-].....	Činitel zkrácení
Z_{e0} [Ω].....	Vlnová impedance bez dielektrika
λ_d [m].....	Vlnová délka s dielektrikem
λ_0 [m].....	Vlnová délka bez dielektrika
Z_T [Ω/m].....	Povrchová přenosová impedance
U_T [V].....	Úbytek napětí na vnější straně stínícího pláště
I_T [A].....	Proud na vnější straně stínícího pláště
l [m].....	Délka kabelu
L_U [dB].....	Napěťová úroveň
u_2 [V].....	Výstupní napětí
u_1 [V].....	Vstupní napětí
t [s].....	Čas
k_u [-].....	Komplexní napěťový přenos

Úvod

Předkládaná práce se zaměřuje na výpočet a měření útlumu koaxiálních kabelů, především na koaxiální kabely s charakteristickou impedancí 50Ω . Cílem práce bylo také změřeni koaxiálních kabelů a vedení v bezodrazové komoře, toto měření představuje velkou část práce a je k práci přiloženo ve formě brožury s názvem: „Koaxiální vedení v bezodrazové komoře FEL 2014“.

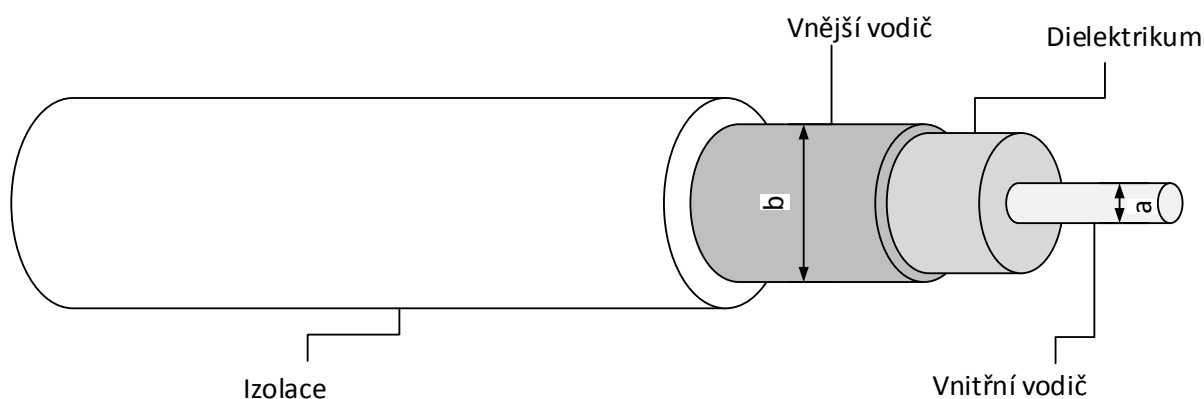
Text je rozdělen do pěti částí; v první části se zabývá obecnými vlastnostmi koaxiálních kabelů, jako jsou primární a sekundární parametry, dále pak konstrukcí a impedančním přizpůsobením. V této kapitole jsou zachyceny vlastnosti, které ovlivňují výsledné chování kabelů zejména jejich útlumu. Druhá část je zaměřena na výpočet a měření útlumu. V části o měření útlumu je popsán postup měření v bezodrazové komoře a následné zpracování a úprava naměřených dat i s ukázkou reprezentace dat z přiložené brožury. Ve třetí části se zabývá používanými dielektriky v kabelech. Čtvrtá část obsahuje tabulky s prodávanými koaxiálními kabely s charakteristickou impedancí 50Ω . Poslední část obsahuje srovnání prodávaných koaxiálních kabelů se změřenými koaxiálními kabely z katedry aplikované elektroniky a bezodrazové komory.

1 Koaxiální kabely

Koaxiální kabel je druhem metalického asymetrického vedení. Asymetrické proto, že na rozdíl od symetrického vedení, které má vodiče s vlastní izolací a ty jsou vedeny vedle sebe. Tak asymetrické vedení je konstruováno jako dva souose vedené vodiče. Mezi vodiči je dielektrikum a celé vedení je pokryto izolací.

Koaxiální kabel se tedy skládá z vnitřního vodiče a vnějšího vodiče oddělenými dielektrikem. Kde vnitřní vodič bývá většinou vyroben z měděného drátku nebo jako měděné lanko. Vnější vodič tvořen sítí z měděných drátků s různou hustotou pokrytí. Tuto hustotu výrobce udává jako procento pokrytí. Můžeme se setkat i s variantou, kdy se měděná síť ještě potahuje hliníkovou fólií, nebo se místo měděné sítě používá měděná fólie, pro stoprocentní pokrytí. Vnější vodič plní i funkci stínění proti vnějšímu rušení a bránění vyzařování v opačném směru. Z toho vyplývá, že čím větší je procento pokrytí, tím menší je vliv rušení.

[1]



Obr 1.1 Průřez koaxiálním kabelem

1.1 Základní vlastnosti koaxiálních kabelů

Jak už bylo řečeno, tak koaxiální kabel je druh metalického vedení. Proto můžeme jeho vlastnosti rozdělit na primární parametry a sekundární parametry. Pro popisování těchto parametrů předpokládáme, že toto vedení je homogenní a můžeme ho rozkouskovat na elementární části dx , které obsahují prvky R , L , G a C , které jsou vztaženy na jednotku délky.

[1] [2] [3]

1.1.1 Primární parametry

Mezi tyto parametry patří měrný odpor R , měrný svod G , měrná kapacita C a měrná indukčnost L . Všechny tyto parametry, jak už bylo řečeno, se udávají na jednotku délky.

- Měrný odpor R

Měrný odpor neboli rezistivita nám přeměňuje část elektrické energie na teplo, které se vyžáří do okolí a tím nám způsobuje ztráty. [3]

$$R = \sqrt{\frac{\omega \mu_0 \mu_r}{2\gamma_c}} \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{a} \right) \quad (1.1)$$

- Měrný svod G

Měrný svod nebo také měrná vodivost je převrácená hodnota resistivity izolace. Svod mezi vodiči kabelu nám vytváří proudové úbytky. Naším cílem je tyto ztráty co nejvíce eliminovat. To znamená, že se snažíme, aby měrná vodivost byla co nejmenší. Z fyzikálního hlediska nemůžeme dosáhnout nulové hodnoty, protože by to znamenalo, že rezistivita materiálu je nekonečná. [1] [3]

$$G = \frac{2\pi\gamma_d}{\ln \frac{b}{a}} \quad (1.2)$$

- Měrná kapacita C

Koaxiální kabely obsahují dva sousední válcové vodiče navzájem izolované. Tato struktura nám tvoří válcový kondenzátor. Výsledná kapacita kabelu je právě měrná kapacita. Tato kapacita nám při vyšších kmitočtech zvyšuje útlum v kabelu, ale při nižších kmitočtech zasnižuje. [1] [3]

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln \frac{b}{a}} \quad (1.3)$$

- Měrná indukčnost L

Tato indukčnost nám potlačuje nízké frekvence a zároveň při vyšších kmitočtech působí proti nabíjecím a vybíjecím proudům kondenzátoru a tím nám snižuje útlum. [3]

$$L = \frac{\mu_0\mu_r}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad (1.4)$$

1.1.2 Sekundární parametry

Jako sekundární parametry bereme taková parametry, které se dají spočítat z parametrů primárních. Mezi tyto parametry patří charakteristická impedance Z_0 , Měrný útlum β a činitel zkrácení α .

- Charakteristická impedance Z_0

Nebo také vlnová impedance je udávána v Ω . Tato impedance není závislá na frekvenci, ale na geometrickém rozložení a materiálových konstantách. Podle hodnoty charakteristické impedance se dají koaxiální kabely rozdělit na dvě základní skupiny, na kabely s hodnotou charakteristické impedance 50 Ω a 75 Ω . Kabely s vlnovou impedancí 50 Ω se využívají

v anténní technice a pro účely spojování počítačových sítí. Kabely s vlnovou impedancí 75Ω se převážně využívají v televizní technice a satelitní technice. [6] [3]

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1.5)$$

- Měrný útlum β

Tento útlum je složen ze ztrát ve vodičích a ztrát v dielektriku. Značí, kolikrát se výkon na výstupu zmenšil oproti vstupnímu. Měrný útlum je kmitočtově závislý. [5]

$$\beta = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2} \quad (1.6)$$

- Činitel zkrácení α

Tento parametr udává výrobce a určuje, kolikrát je délka elektromagnetické vlny v koaxiálním kabelu menší, než by byla ve volném prostoru. [5]

$$\alpha = \frac{\lambda_d}{\lambda_0} = \frac{Z_0}{Z_{\varepsilon 0}} \quad (1.7)$$

1.2 Stínění koaxiálních kabelů

Úkolem stínění koaxiálního kabelu je, zabránění rušivým signálům v ovlivnění přenášeného signálu a zabránění ovlivňování přenášeným signálem. Pro stanovení elektromagnetického stínění se používá povrchová přenosová impedance Z_T . Která je dána vztahem (1.8).

$$Z_T(\omega) = \frac{U_T(\omega)}{I_T(\omega) \cdot l} \quad (1.8)$$

Kde I_T je proud, který protéká vnější stranou stínícího pláště. Tento proud může být způsoben vnějším elektromagnetickým rušením. Pak nám vznikne na vnější straně podélný úbytek napětí U_T , jehož velikost je dána konstrukcí pláště a hloubkou vniku elektromagnetického pole při daném kmitočtu. Tato impedance je udávaná na jednotku délky kabelu l . [7]

1.3 Impedanční přizpůsobení

Impedanční přizpůsobení je takový stav, kdy činitele odrazu propojených prvků jsou komplexně sdružené. Při této podmínce nedochází ke vzniku stojatého vlnění, které nám způsobuje ztráty odrazem. U impedančně přizpůsobených členů se snažíme, aby toto přizpůsobení bylo dostatečně zajištěno v co největším možném frekvenčním pásmu. [4] [8]

1.3.1 Důsledky špatného impedančního přizpůsobení

Při špatném impedančním přizpůsobení členů přenosového řetězce může docházet ke změnám ve funkci jednotlivých prvků řetězce. Jako na příklad vnesení jalové složky do laděných prvků řetězce. Což má za následek přeladění tohoto prvku. V nepřizpůsobených obvodech vzniká stojaté vlnění, které nám následně více namáhá některé části obvodu a může způsobit destrukci těchto částí. Jak už bylo zmíněno, tak nepřizpůsobením vznikají v těchto místech odrazy, které nám v tomto místě snižují dodávanou energii. Někdy se odražená energie po dalším odrazu může vrátit a tím ovlivnit přenášený signál, jde o tzv. Ferrantiho jev, kdy je na konci vedení větší napětí než na začátku. Máme-li nepřizpůsobený napáječ u antény, tak je možné, že vyzařovací charakteristika antény může být negativně ovlivněna. [8]

2 Útlum a měření útlumu

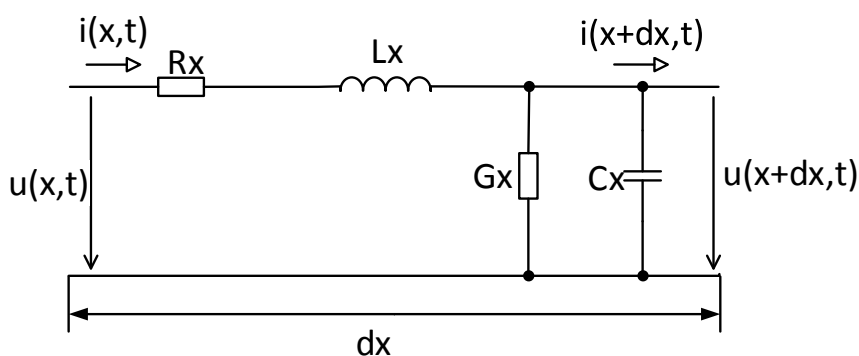
Útlum je prezentace poměru výstupního výkonu či napětí ke vstupnímu, je také závislý na frekvenci a délce kabelu, proto se tato veličina udává v decibelech na jednotku délky při určité frekvenci.

2.1 Výpočet útlumu

Pro výpočet útlumu na koaxiálním kabelu si můžeme představit, že tento kabel je při zjednodušení tvořen nekonečně malými úseky se stejnými parametry v každém úseku. Pak můžeme říci, že koaxiální kabel je homogenní vedení s rozprostřenými parametry. Nebo můžeme koaxiální kabel považovat za dvojbran s náhradními parametry reprezentující celkové vlastnosti celého kabelu.

2.1.1 Koaxiální kabel jako homogenní vedení

Koaxiální vedení můžeme zjednodušeně považovat za homogenní vedení s rozprostřenými parametry a můžeme ho namodelovat dle Obr. 1.2.



Obr 1.2 Elementární část dx homogenního vedení s rozprostřenými parametry

Tyto prvky nám představují reálné vlastnosti kabelu. Jako je odpor použitých vodičů, parazitní indukčnost, parazitní kapacita mezi vodiči a svod dielektrika. K výpočtu nám stačí znát geometrické rozložení, rozměry, kmityčet a materiálové konstanty jako je relativní permitivita ϵ_r , relativní permeabilita μ_r použitého dielektrika a vodivost γ_c vodičů. Pak můžeme použít rovnice (1.1) až (1.4), pro výpočet jednotlivých prvků. Pro zjištění hodnot napětí a proudu v kterémkoliv místě a čase můžeme použít telegrafní rovnice (2.1) a (2.2). Výsledkem těchto rovnic je napětí a proud v kterémkoliv místě a čase. [2] [3]

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.1)$$

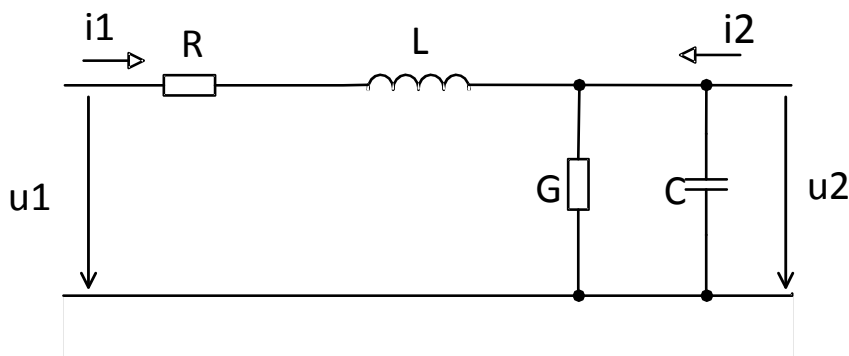
$$-\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + C \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.2)$$

Tyto výsledky nám mohou pomoci tehdy, když potřebujeme zjistit, jaký bude útlum při zkrácení kabelu na polovinu. Víme vstupní napětí u_1 a spočetli jsme výstupní napětí u_2 . Pro převod na decibely použijeme vzorec (2.3).

$$L_u = 20 \cdot \log \frac{u_2}{u_1} \quad (2.3)$$

2.1.2 Koaxiální kabel jako dvojbran

Podíváme-li se na koaxiální kabel jako na dvojbran (Obr 2.1), tak jeho útlum spočítáme z komplexního napěťového přenosu k_u .



Obr 2.1 Koaxiální kabel jako dvojbran

$$k_u = \frac{u_2}{u_1} \quad (2.4)$$

Pak můžeme psát výsledek:

$$k_u = \frac{1}{(j\omega C + G) \cdot (R + j\omega L) + 1} \quad (2.5)$$

2.2 Měření útlumu

Měření útlumu je v zásadě, neustálé porovnávání výstupního napětí se vstupním napětím. Jelikož je útlum frekvenčně závislý, tak se tento postup musí opakovat pro vybrané frekvenční spektrum. Manuálně bychom měřili vstupní a výstupní napětí pomocí voltmetrů a tento způsob bychom provedli pouze na vybraných frekvencích, protože proměřit celé vybrané spektrum s konečně malým krokem by bylo příliš časově náročné. Proto se většinou volí automatické měření pomocí k tomu určených přístrojů např. spektrálním analyzátozem jako v našem případě.

2.2.1 Metoda měření útlumu

Měřený vzorek kabelu je při měření připojen jedním koncem na generátor, na kterém je nastaveno referenční napětí. Druhý konec měřeného kabelu je připojen k přístroji pro měření výstupního napětí.

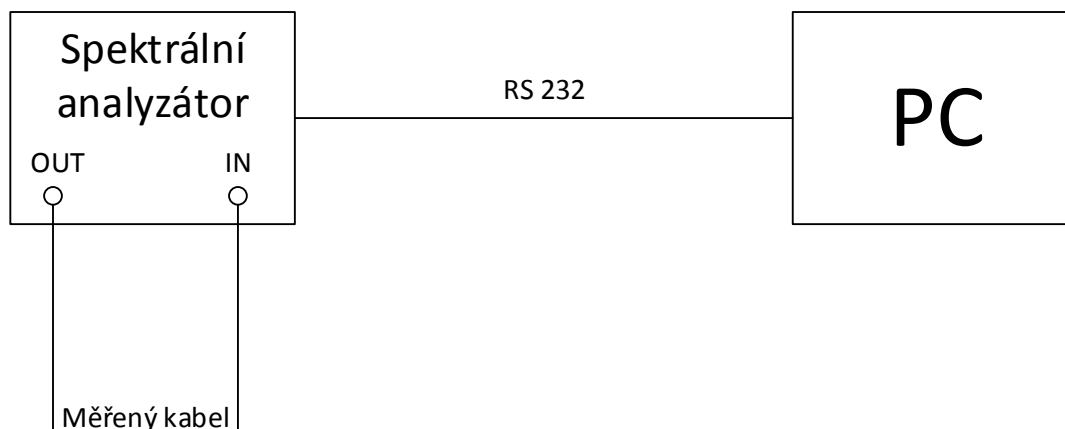
Při vlastním měření se na generátoru nastavuje požadovaný kmitočet, na kterém se bude měřit útlum. Po nastavení příslušného kmitočtu se sleduje výstupní napětí. Poměr mezi výstupním napětím a referenčním respektive vstupním napětí je výsledný útlum, který se převádí na decibely, které jsou vztaženy na délku měřeného kabelu. Tento postup je prováděn v požadovaném frekvenčním pásmu.

Použité přístroje bývají mezi sebou propojeny například počítačem s měřícím softwarem, který automaticky nastavuje frekvenci na generátoru a zároveň přijímá změřené výstupní napětí, které rovnou převádí na decibely a zpracovaná data může prezentovat prostřednictvím grafu útlumu závislého na frekvenci. Existují i přístroje, které v sobě obsahují jak generátor, tak i část pro měření výstupních veličin. V takovém případě nám stačí jen jeden přístroj na to, abychom mohli změřit útlum na kabelu. Stačí jen propojit vstupní a výstupní svorky přístroje měřeným kabelem, pak už jen stačí nastavit parametry pro měření útlumu a spustit měření.

Při měření kabelů je třeba dbát na to, aby použité přístroje byly impedančně přizpůsobeny měřenému kabelu. Při nedodržení impedančního přizpůsobení by mohlo mít za následek ovlivnění naměřených dat.

2.2.2 Měření v bezodrazové komoře

My jsme pro měření použili spektrální analyzátor Agilent ESA-E 4402B zapůjčení na fakultě elektrotechnické. Spektrální analyzátor jsme propojili s počítačem pomocí sériového portu RS 232, abychom mohli naměřená data hned ukládat.



Obr 2.2 Blokové schéma měřicí soustavy

Měření probíhalo v bezodrazové komoře FEL, kde jsme proměřili sebrané koaxiální kabely s charakteristickou impedancí 50Ω z bezodrazové komory a katedry aplikované elektrotechniky používané při měření anténních systémů. Proměřili jsme i koaxiální vedení uložené v podlaze bezodrazové komory. Cílem tohoto měření bylo vypracování dokumentace používaných kabelů a vedení pro účely měření. Tato dokumentace obsahuje názvy kabelů, typy kabelů, typy zakončovacích konektorů, délku kabelů a jejich změřený útlum v rozsahu od 9 kHz do 3 GHz. Tato dokumentace je přiložena k této práci pod názvem: „Koaxiální vedení v bezodrazové komoře FEL 2014“.

2.2.2.1 Nastavení spektrálního analyzátoru

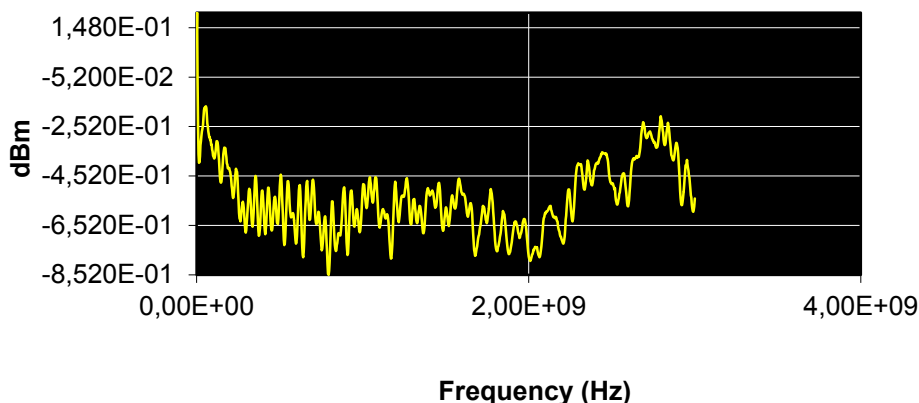
- **Frequency** -> **Start** 9 kHz
- > **Stop** 3 GHz
- **Amplitude** -> **Scale/Div** 0,5 dB
- **Source** -> **On** 0 dBm
- **Bw/Avg** -> **Average** 100 x
- **Sweep** -> **Points** 1024

2.2.2.2 Postup měření a zpracování dat

Po nastavení přístroje jsme připojili měřený kabel na měřicí konektory a spustili jsme průměrování. Po skončení průměrování jsme vložili data do PC. Při měření vedení v bezodrazové komoře jsme museli použít další kabely pro spojení měřicího přístroje s instalovaným vedením v podlaze. Použité kabely jsme pak udečetli od naměřených hodnot.

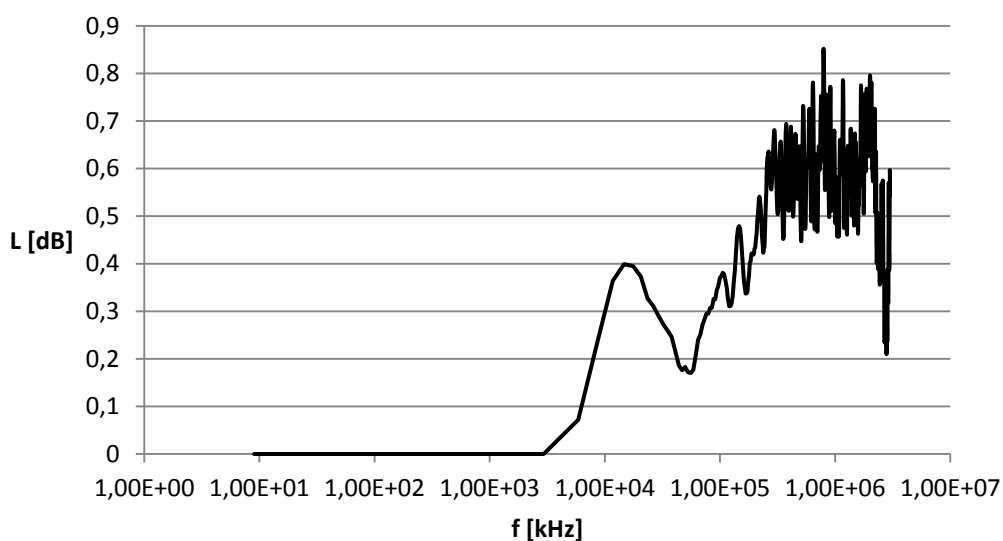
Spektrální analyzátor prezentuje data jako zesílení a v nízkých frekvencích naměří zisk, což není možné, aby kabel sám od sebe zesiloval (Obr 2.3). Bylo tedy nutné data upravit.

PSA/ESA Spectrum Analyzer (E4402B)



Obr 2.3 Příklad reprezentace grafu změřeného útlumu kabelu KAE C02 spektrálním analyzátořem

Data jsme upravili tak, že jsme všechny hodnoty, které reprezentovali zesílení, dali rovné nule. Frekvenční osu jsme zavedli v logaritmickém měřítku a pro lepší přehlednost jsme ji přepočítali na kHz. Data prezentujeme, jako naměřený útlum viz: Obr 2.4.



Obr 2.4 Příklad reprezentace upravených dat kabelu KAE C02

Z naměřených dat jsme vytvořili dokumentaci měřících kabelů a vedení. Tato dokumentace je přiložena k této práci v příloze pod názvem: „Koaxiální vedení v bezodrazové komoře FEL 2014“.

2.2.2.3 Příklad reprezentace naměřených dat

Zmiňovaná brožura obsahuje data o změřených koaxiálních kabelech používaných v bezodrazové komoře FEL a na katedře aplikované elektroniky. Na každé stránce se změřeným kabelem je uvedeno označení kabelu, typ kabelu (v případě že byl uveden), použité zakončení kabelu a změřená délka kabelu. Změřený útlum kabelu je prezentován pomocí grafu a tabulky útlumu na některých vybraných frekvencích. V brožuře dále najdeme schématické vyobrazení bezodrazové komory FEL a manipulačních otvorů v bezodrazové komoře. Tyto obrázky zachycují a popisují kabelovou instalaci.

V brožuře je použito jiné formátování textu, značení tabulek, značení obrázků a popis obrázku než je použito v této práci.

Kabel EMC C01

Typ kabelu: GES-ELECTRONICS RG 213/U

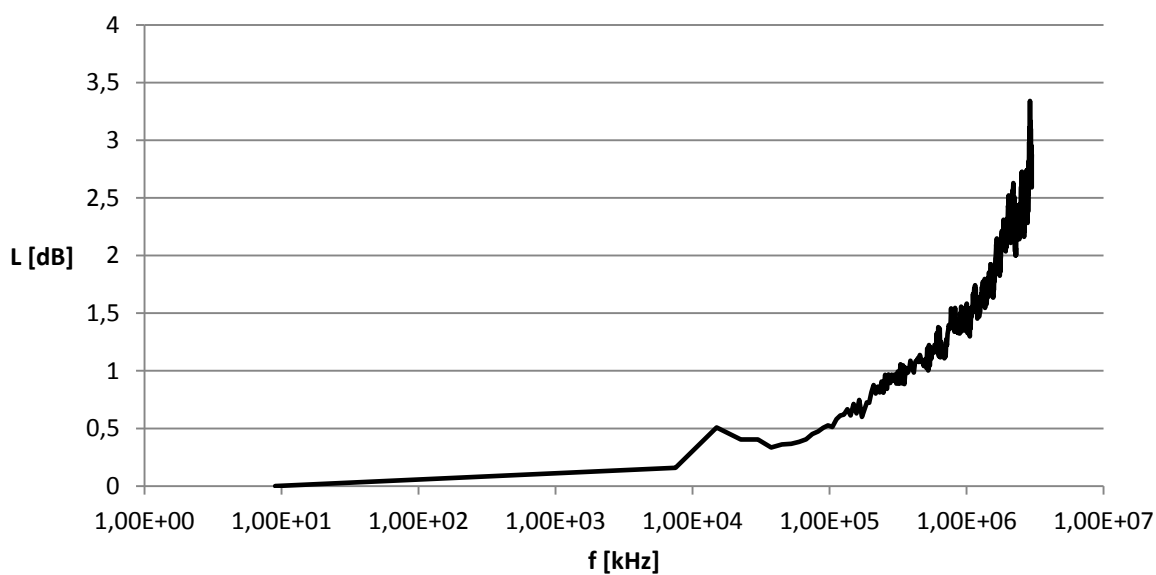
Zakončení: N (M + M)

Délka kabelu: 3m

[Tab. 01] Tabulka útlumů v dB pro kabel EMC C01

Frekvence [kHz]	Útlum [dB]
9,00E+00	0,000
7,50E+04	0,451
1,50E+05	0,712
2,25E+05	0,863
3,00E+05	0,968
3,75E+05	0,986
4,50E+05	1,076
5,25E+05	1,003
6,00E+05	1,195
6,75E+05	1,184
7,50E+05	1,383
8,25E+05	1,545
9,00E+05	1,500
9,75E+05	1,549
1,05E+06	1,382
1,13E+06	1,564
1,20E+06	1,453
1,28E+06	1,593
1,35E+06	1,663
1,43E+06	1,635

Frekvence [kHz]	Útlum [dB]
1,50E+06	1,925
1,58E+06	1,806
1,65E+06	2,096
1,73E+06	2,034
1,80E+06	2,177
1,88E+06	2,119
1,95E+06	2,065
2,03E+06	2,422
2,10E+06	2,109
2,18E+06	2,568
2,25E+06	2,280
2,33E+06	2,184
2,40E+06	2,437
2,48E+06	2,326
2,55E+06	2,575
2,63E+06	2,316
2,70E+06	2,532
2,78E+06	2,455
2,85E+06	2,819
3,00E+06	2,591

**[Graf 01]** Naměřený útlum kabelu EMC C01

3 Dielektrika používaná v kabelech

3.1 Obecně o dielektrických materiálech

Dielektrikum je izolant se schopností polarizace vázaných nábojů v této látce. Dielektrika se používají v kondenzátorech, jako izolace mezi deskami a zvyšují tak kapacitu kondenzátorů. V případě kondenzátorů je žádoucí, aby relativní permitivita dielektrika byla co nejvyšší, tím se zvýší i kapacita. U kabelů je to právě naopak, zde se snažíme, aby relativní permitivita byla co možná nejmenší. Je to z důvodu potlačení kapacity kabelu a zmenšení útlumu kabelu. [9]

3.2 Příklady dielektrik

Zde uvádím některé druhy dielektrik používané v koaxiálních kabelech.

Tab. 3.1 Tabulka dielektrik použitých v kabelech

Druh dielektrika	Relativní permitivita ϵ_r
Vzduch	1
Pěnový PE	1,4 – 2,1
Pevný PE	2,3
PTFE	2,1
Buněčný PTFE	1,4
FEP	2,1
Buněčný FEP	1,5
Butylová pryž	3,1
Silikonová pryž	2,08 – 3,5

Některé kabely s velmi nízkým útlumem se konstruuji se vzduchovým dielektrikem. Konstrukce vypadá tak, že vnitřní vodič je držen středními kroužky na svém místě a mezi těmito kroužky je vzduch, nebo v některých případech je prostor napuštěn inertním plynem. Takto konstruovaný kabel je ještě hermeticky utěsněn. Takovéto kabely vykazují sice velmi nízký útlum, ale jsou náchylné na poškození ohybem. [9] [10]

4 Vybrané prodávané kabely

Tab. 4.1 Tabulka koaxiálních kabelů 50 Ω od prodejce GES

Název	Útlum [dB/100m], *[dB/100ft]							Metráž od [m]	Dielektrikum
	f [MHz]								
	100	200	400	500	1000	2000	3000		
RG 174/U	30	45	62	73	111	-	-	1	PE
RG 58C/U	16,1	23	33	36	54,6	87,5	118	1	PE
RG 213/U	6,9	9,8	15,7	16,7	25,7	41,6	58,5	1	PE
RG 214/U	6,9	9,4	15	-	25,7	-	-	1	PE
H 155	9,3	-	19	-	30,9	-	-	1	PE
H 1000 PE	3,9	-	-	-	13,5	20,2	24,7	1	PE
AIRCEL L 7	6,6	-	-	15,5	22,5	33,8	43,8	1	PE
ECOFL EX 10	4	-	-	-	14,2	21,2	27	10	LLC PE
AIRCO M PLUS	3,3	-	-	9,1	12,5	19,7	25	1	PE
RF 195 PE	(150) *4	(220) *4,9	-	(450) *7,1	(900) *10,3	*16,1	*20,5	1	FHDPE
RF 240 PE	(150) *2,8	(220) *3,4	-	(450) *4,9	(900) *7	*10,7	*13,4	1	FHDPE
MWC 10/50 PE	(140) 5,5	-	-	-	(900) 14	20	(2500) 24,1	1	PE
SCF 12-50	3,13	4,51	-	(450) 6,96	10,82	16,08	20,42	1	PE
LCF 12-50	2,17	3,11	-	(450) 4,79	7,38	10,88	13,74	1	PE
LCF 78-50 JA	1,17	1,7	-	(450) 2,65	4,18	6,31	8,1	1	PE
LCF 114-50	0,83	1,21	-	(450) 1,88	2,98	4,51	5,8	10	PE
LCF 158-50	0,68	1	-	(450) 1,59	2,57	3,98	-	1000	PE

Tab. 4.2 Tabulka koaxiálních kabelů 50 Ω od prodejce GME

Název	Útlum [dB/100m]					Metráž od [m]	Dielektrikum
	f [MHz]						
	100	500	1000	2000	2500		
RGC-54	9,6	-	30,9	-	(2400) 49,6	1	Foam PE
RG-213-NORDIX-C-17	6	15	23	35	40	1	Solid PE
RG-58-EKH-155	9,3	(470) 16,9	30,9	(2150) 46,9	-	1	Foam
RG-58-EKH-240	(150) 9,1	(450) 16,1	(900) 23,2	35,8	35,8	1	Foam
RG-58-100	15,4	37,7	58,3	-	-	1	PE
RG-58-40	15,4	37,7	58,3	-	-	1	PE

Tab. 4.3 Tabulka prvotřídních koaxiálních kabelů 50 Ω od prodejce MINICIRCUIT

číslo modelu	Typ konektorů	délka [m]	Útlum [dB]				Dielektrikum
			frekvence [MHz]				
			10	1000	2500	3000	
CBL-0.5M-NMNM+	N-male, N-male	0,5	0,02	0,22	0,36	0,39	Solid PTFE
CBL-2FT-NMNM+	N-male, N-male	0,61	0,02	0,25	0,41	-	Solid PTFE
CBL-3FT-NMNM+	N-male, N-male	0,91	-	0,38	0,61	0,67	Solid PTFE
CBL3NMQ-NM+	N-male, N-male	0,91	(100) 0,11	(733,33) 0,33	-	(3334) 0,73	Solid PTFE
CBL-1M-NMNM+	N-male, N-male	1	-	0,4	0,65	-	Solid PTFE
CBL-1.5M-NMNM+	N-male, N-male	1,5	-	0,6	0,97	-	Solid PTFE
CBL-6FT-NMNM+	N-male, N-male	1,83	0,06	0,71	1,17	-	Solid PTFE
CBL6NMQ-NM+	N-male, N-male	1,83	0,06	0,71	1,17	-	Solid PTFE
CBL-2M-NMNM+	N-male, N-male	2	-	0,8	1,3	1,43	Solid PTFE
CBL-10FT-NMNM+	N-male, N-male	3	0,1	1,14	1,88	2,11	Solid PTFE
CBL-15FT-NMNM+	N-male, N-male	4,57	-	(1000,15) 1,71	(2666,67) 2,91	-	Solid PTFE
CBL-20FT-NMNM+	N-male, N-male	6,1	-	2,02	3,75	4,16	Solid PTFE
CBL-25FT-NMNM+	N-male, N-male	7,62	-	(1000,15) 2,81	-	(3333,33) 5,48	Solid PTFE

Tab. 4.4 Tabulka prvotřídních koaxiálních kabelů 50 Ω od prodejce MINICIRCUIT

číslo modelu	Typ konektorů	délka [m]	Útlum [dB]						Dielektrikum
			frekvence [MHz]						
			10	100	1000	2000	2500	3000	
CBL-0.5M-SMNM+	SMA Male, N Male	0,5	0,02	0,07	0,22	0,34	-	0,41	Solid PTFE
CBL-1.5M-SMNM+	SMA Male, N Male	1,5	0,06	0,18	0,61	0,89	-	1,1	Solid PTFE
CBL-1M-SMNM+	SMA Male, N Male	1	0,04	0,12	0,43	0,63	-	0,8	Solid PTFE
CBL-2M-SMNM+	SMA Male, N Male	2	-	0,24	0,81	-	1,33	-	Solid PTFE
CBL-2FT-SMNM+	SMA Male, N Male	0,61	0,03	0,08	0,27	0,4	-	0,5	Solid PTFE
CBL-3FT-SMNM+	SMA Male, N Male	0,91	0,02	-	0,38	-	0,62	0,68	Solid PTFE
CBL-4FT-SMNM+	SMA Male, N Male	1,22	-	-	(1000,15) 0,44	0,67	(2666,67) 0,8	(3333,33) 0,92	Solid PTFE
CBL-6FT-SMNM+	SMA Male, N Male	1,83	-	0,22	0,72	1,03	1,18	-	Solid PTFE
CBL-10FT-SMNM+	SMA Male, N Male	3,04	-	0,32	-	1,61	-	-	Solid PTFE
CBL-15FT-SMNM+	SMA Male, N Male	2,5	-	-	(1000,15) 1,68	2,43	(2666,67) 2,83	-	Solid PTFE
CBL2SMQ-NM+	SMA Male, N Male	0,61	0,03	0,08	0,27	0,4	-	0,5	Solid PTFE
CBL3NMQ-SMQ+	SMA Male, N Male	0,91	0,02	-	0,38	-	0,62	0,68	Solid PTFE
CBL3NMQ-SM+	SMA Male, N Male	0,91	0,02	-	0,38	-	0,62	0,68	Solid PTFE
CBL6NMQ-SM+	SMA Male, N Male	1,83	-	0,22	0,72	1,03	1,18	-	Solid PTFE

Tab. 4.5 Tabulka prvotřídních koaxiálních kabelů 50 Ω od prodejce MINICIRCUIT

číslo modelu	Typ konektorů	délka [m]	Útlum [dB]					Dielektrikum
			frekvence [MHz]					
			10	500	1000	2000	2500	
CBL-3FT-SFSM+	SMA Female, SMA Male	0,91	0,04	-	0,38	0,55	0,62	Solid PTFE
CBL-2FT-SFNM+	SMA Female, N Male	0,61	0,02	-	0,25	0,38	0,42	Solid PTFE
CBL-3FT-SFNM+	SMA Female, N Male	0,91	-	0,27	0,39	-	0,64	Solid PTFE
CBL-6FT-SFNM+	SMA Female, N Male	1,83	0,01	-	0,71	-	1,17	Solid PTFE

Tab. 4.6 Tabulka prvotřídních koaxiálních kabelů 50 Ω od prodejce MINICIRCUIT

číslo modelu	Typ konektorů	délka [m]	Útlum [dB]					Dielektrikum
			frekvence [MHz]					
			100	1000	2000	2500	3000	
CBL-0.5M-SMSM+	SMA Male, SMA Male	0,5	-	0,22	0,32	-	0,39	Solid PTFE
CBL-1FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	0,3	0,05	(1050) 0,15	-	-	(3333,3) 0,26	Solid PTFE
CBL-1.5FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	0,46	-	0,19	0,28	0,31	-	Solid PTFE
CBL1.5SMQ-SM+	SMA Male, SMA Male	0,46	-	0,19	0,28	0,31	-	Solid PTFE
CBL-2FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	0,61	-	0,3	0,41	-	0,5	Solid PTFE
CBL2SMQ-SM+	SMA Male, SMA Male	0,61	-	0,3	0,41	-	0,5	Solid PTFE
CBL-3FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	0,91	-	0,4	0,57	0,64	-	Solid PTFE
CBL3SMQ-SM+	SMA Male, SMA Male	0,91	-	0,4	0,57	0,64	-	Solid PTFE
CBL-1M-SMSM+	SMA Male, SMA Male	1	0,12	0,41	0,59	0,67	0,74	Solid PTFE
CBL-4FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	1,22	0,14	0,5	-	0,83	-	Solid PTFE
CBL-1.5M-SMSM+	SMA Male, SMA Male	1,5	-	0,6	-	0,99	1,09	Solid PTFE
CBL-5FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	1,52	0,17	0,62	0,88	-	-	Solid PTFE
CBL-6FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	1,82	-	0,72	1,04	1,17	-	Solid PTFE
CBL6SMQ-SM+	SMA Male, SMA Male	1,82	-	0,72	1,04	1,17	-	Solid PTFE
CBL-2M-SMSM+	SMA Male, SMA Male	2	-	0,77	1,12	1,26	1,4	Solid PTFE
CBL-10FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	3,04	-	(1000,15) 1,14	1,67	(2666,67) 1,96	-	Solid PTFE
CBL10SMQ-SM+	SMA Male, SMA Male	3,04	-	(1000,15) 1,14	1,67	(2666,67) 1,96	-	Solid PTFE
CBL-12FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	3,66	0,41	(1366,67) 1,66	2,04	-	-	Solid PTFE
CBL-15FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	4,57	0,5	(1366,67) 2,1	2,48	-	(3334) 3,31	Solid PTFE
CBL-20FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	6,1	-	2,4	3,49	-	4,37	Solid PTFE
CBL-25FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	7,62	0,82	(1050) 2,89	4,08	-	-	Solid PTFE
CBL-50FT-SMSM+	SMA Male, SMA Male	15,24	1,8	-	8,5	-	(3334) 11,3	Solid PTFE

5 Porovnání koaxiálních kabelů

Pro porovnání naměřených koaxiálních kabelů a vybraných prodávaných koaxiálních kabelů jsme si udělali čtyři skupiny. S označením 1 Výborný, 2 Velmi dobrý, 3 Dobrý a 4 Špatný. U všech kabelů jsme přepočítali útlum na 1 m a rozřazení do skupin jsme prováděli pomocí sledování největšího útlumu dosaženého v pásmu frekvencí od 100 MHz až do 3 GHz.

Tab. 5.1 Tabulka kabelů ze skupiny 1 Výborný s max. útlumem od 0 dB/1m do 0,34 dB/1m

Název	Min. Útlum [dB/1m]	Max. Útlum [dB/1m]
EMC C02	0,140487799	0,322439031
EMC C05	0,063671876	0,2640625
N1 modrá	0,020500008	0,243250042
N2 modrá	0,023000006	0,215249986
N1 červená	0	0,329999984
N2 červená	0	0,290499985
N3 červená	0	0,318500161
N2 žlutá	0,013571428	0,269428628
N3 žlutá	0,006428561	0,304999999
RG 214/U	0,069	0,257
H 155	0,093	0,309
H 1000 PE	0,039	0,247
ECOFLEX 10	0,04	0,27
AIRCOM PLUS	0,033	0,25
MWC 10/50 PE	0,2	0,241
SCF 12-50	0,0313	0,2042
LCF 12-50	0,0217	0,1374
LCF 78-50 JA	0,0117	0,081
LCF 114-50	0,0083	0,058
LCF 158-50	0,0068	0,0398
RGC-54	0,096	0,309
RG-58-EKH-155	0,093	0,309

Tab. 5.2 Tabulka kabelů ze skupiny 2 Velmi dobrý s max. útlumem od 0,34 dB/1m do 0,68 dB/1m

Název	Min. Útlum [dB/1m]	Max. Útlum [dB/1m]
EMC C06	0,067177245	0,466520781
KAE C03	0,164795926	0,519387758
KAE C04	0,335960582	0,643349751
KAE K09	0,197073178	0,662926813
N1 žlutá	0,011428573	0,343571424
CBL-2FT-NMNM+	0,409836066	0,672131148
CBL-1M-NMNM+	0,4	0,65
CBL-1.5M-NMNM+	0,4	0,646666667
CBL-6FT-NMNM+	0,387978142	0,639344262
CBL6NMQ-NM+	0,387978142	0,639344262
CBL-15FT-NMNM+	0,374179431	0,636761488
CBL-2M-SMNM+	0,12	0,665
CBL-6FT-SMNM+	0,120219	0,644808743
CBL-10FT-SMNM+	0,105263	0,529605
CBL6NMQ-SM+	0,120219	0,644808743
CBL-1.5FT-SMSM+	0,413043478	0,673913043
CBL1.5SMQ-SM+	0,413043478	0,673913043
CBL-5FT-SMSM+	0,11184211	0,578947368
CBL-6FT-SMSM+	0,395604396	0,642857143
CBL6SMQ-SM+	0,395604396	0,642857143
CBL-10FT-SMSM+	0,375	0,644736842
CBL10SMQ-SM+	0,375	0,644736842
CBL-12FT-SMSM+	0,11202186	0,557377049
CBL-25FT-SMSM+	0,10761155	0,535433071
CBL-6FT-SFNM+	0,387978	0,639344
RG 213/U	0,069	0,585
AIRCELL 7	0,066	0,438
RF 195 PE	0,528215223	0,672572178
RF 240 PE	0,351049869	0,439632546
RG-213-NORDIX-C-17	0,06	0,4
RG-58-EKH-240	0,358	0,358
RG-58-100	0,154	0,583
RG-58-40	0,154	0,583

Tab. 5.3 Tabulka kabelů ze skupiny 3 Ddobrý s max. útlumem od 0,68 dB/1m do 1 dB/1m

Název	Min. Útlum [dB/1m]	Max. Útlum [dB/1m]
EMC C01	0,170666675	0,863666693
EMC C03	0,130415758	0,845514241
EMC C04	0,138123747	0,755289405
EMC K01	0,207549229	0,916958377
KAE C01	0,43366336	0,886138595
KAE C02	0,370297043	0,753465325
KAE C05	0,369306927	0,920792086
KAE C06	0,377227735	0,83960395
KAE K01	0,265094329	0,914622646
KAE K02	0,24858491	0,876415113
CBL-0.5M-NMNM+	0,44	0,78
CBL-3FT-NMNM+	0,417582418	0,736263736
CBL3NMQ-NM+	0,362637363	0,802197802
CBL-2M-NMNM+	0,4	0,715
CBL-10FT-NMNM+	0,38	0,703333333
CBL-20FT-NMNM+	0,331147541	0,681967213
CBL-25FT-NMNM+	0,368766404	0,719160105
CBL-0.5M-SMNM+	0,14	0,82
CBL-1.5M-SMNM+	0,12	0,733333
CBL-1M-SMNM+	0,12	0,8
CBL-2FT-SMNM+	0,131148	0,819672
CBL-3FT-SMNM+	0,417582418	0,747253
CBL-4FT-SMNM+	0,360655738	0,754098
CBL2SMQ-NM+	0,131148	0,819672
CBL3NMQ-SMQ+	0,417582418	0,747253
CBL3NMQ-SM+	0,417582418	0,747253
CBL-0.5M-SMSM+	0,44	0,78
CBL-1FT-SMSM+	0,16666667	0,866666667
CBL-2FT-SMSM+	0,491803279	0,819672131
CBL2SMQ-SM+	0,491803279	0,819672131
CBL-3FT-SMSM+	0,43956044	0,703296703
CBL3SMQ-SM+	0,43956044	0,703296703
CBL-1M-SMSM+	0,12	0,74
CBL-4FT-SMSM+	0,1147541	0,680327869
CBL-1.5M-SMSM+	0,4	0,726666667
CBL-2M-SMSM+	0,385	0,7
CBL-15FT-SMSM+	0,10940919	0,72428884
CBL-20FT-SMSM+	0,393442623	0,716393443
CBL-50FT-SMSM+	0,11811024	0,741469816
CBL-3FT-SFSM+	0,417582	0,681319
CBL-2FT-SFNM+	0,409836	0,688525
CBL-3FT-SFNM+	0,428571	0,703297

Tab. 5.4 Tabulka kabelů ze skupiny 4 Špatný s max. útlumem od 1 dB/1m

Název	Min. Útlum [dB/1m]	Max. Útlum [dB/1m]
EMC K02	0,45945945	2,028828913
KAE K03	0,394078932	1,832894745
KAE K04	0,35820897	1,582587062
KAE K05a	0,626086958	2,454106243
KAE K05b	0,656038667	3,466666724
KAE K06a	0,558620662	1,764532029
KAE K06b	0,556650244	1,758620657
KAE K07a	0,640579699	9,142028882
KAE K07b	0,558454115	7,569082233
KAE K08	0,571568631	5,196078619
CBL-15FT-SMNM+	0,672	1,132
RG 174/U	0,3	1,11
RG 58C/U	0,161	1,18

Závěr

Obecné vlastnosti koaxiálních kabelů jsou shrnuty v kapitole 1. Je zde naznačena konstrukce koaxiálních kabelů. V této kapitole jsou dále popsány primární a sekundární parametry koaxiálních kabelů a výpočty těchto parametrů dle rovnic (1.1) až (1.7).

V dnešní době je všude kolem nás nějaké rušení, které nám ovlivňuje veškeré přístroje i propojovací prvky. Proto je v podkapitole 1.2 přiblížena funkce vnějšího vodiče jako stínění. Kvalitní stínění je velmi důležité, bez dobrého stínění je téměř nemožné v dnešní době vyrobit koaxiální kabel s velmi dobrým útlumem.

Při propojování prvků v přenosovém řetězci je třeba dbát na impedanční přizpůsobení, nedodržení impedančního přizpůsobení může vyvolat negativní jevy. Některé z těchto jevů jsou uvedené v podkapitole 1.3.1.

Jako důležitý parametr sledovaný u kabelů je jejich útlum. V práci jsou uvedeny dva způsoby pro výpočet útlumu kabelu. První způsob předpokládá, že koaxiální kabel můžeme brát jako homogenní vedení s rozprostřenými parametry. Takto zavedený předpoklad, nám umožňuje rozdělit kabel na elementárně malé části dx . Při takto zavedeném zjednodušení můžeme psát Telegrafní rovnice (2.1) a (2.2), pro výpočet napětí a proudu v libovolném místě a čase. Druhý způsob je postavený na předpokladu, že koaxiální kabel je reprezentován dvojbranem a jeho parametry jsou soustředěny do elementárních prvků dvojbranu. U takto vytvořeného dvojbranu lze spočítat napěťový přenos k_u , což je vlastně útlum.

V podkapitole 2.2 je popsáno měření útlumu pomocí spektrálního analyzátoru. Při tomto měření jsme měřili útlum na koaxiálních kabelech o impedanci 50Ω . Výsledky tohoto měření jsou přiloženy k práci jako příloha ve formě tištěné brožury s názvem: „Koaxiální vedení v bezodrazové komoře FEL 2014“. Tato brožura je značnou částí této práce.

Změřené útlumy jsme porovnali s prodávanými kabely a jejich výsledky jsme uvedli v tabulkách Tab. 5.1 až Tab. 5.4. V tomto porovnání je třeba zmínit, že v nejlepší skupině označené jako „1 Výborný“ je uvedeno i vedení v bezodrazové komoře, z toho lze usuzovat, že zde bylo dbáno na kvalitu. Jako nejlepší kabely v našem srovnání bych uvedl kabely, které mají maximální útlum na jeden metr menší než $0,1 \text{ dB/m}$. Jsou to kabely: „LCF 158-50, LCF 114-50 a LCF 78-50 JA“. Jako nejhorší kabely s maximálním útlumem na jeden metr větším než 3 dB/m , bych označil kabely: „KAE K05b, KAE K08, KAE K07b a KAE K07a“. Poslední tři jmenované kabely mají dokonce maximální útlum větší než 5 dB/m a poslední z nich má tento útlum větší než 9 dB/m . Dle mého názoru je takový útlum už příliš špatný.

Použitá literatura

- [1] HOTÁREK, L. Koaxiální kabely v komunikačních sítích. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 33 s. Vedoucí semestrální práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.
- [2] Primární parametry vedení [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.telskol-pohoda.wz.cz/files/tps/1.PRIMARNI_PARAMETRY_VEDENI.pdf
- [3] eArchiv.cz, Jiří Peterka: Koaxiální kabely [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a96/a643k150.php3>
- [4] Pandatron.cz, Elektrický magazín: Vf kabely [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?255&vf_kabely
- [5] VŠB – TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektrotechniky: Šíření vln na jedno a dvojvodičovém vedení [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/sireni_vln/teze/otazka_16.pdf
- [6] Encyklopedie EMC, kolektiv autorů: Elektromagnetické stínění [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node27>
- [7] Zbyněk Škvor: Impedanční přizpůsobení [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.skvor.cz/pdf/impmatch2.pdf>
- [8] BODEČEK, M. Analýza vlivu parametrů vytvrzování na dielektrické vlastnosti laku při dlouhodobém navlhávání [online]. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2007.
- [9] Standard Wire & Cable Co.: Coaxial Cable [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: http://www.standard-wire.com/coax_cable_theory_and_application.html

Příloha